

砷胁迫对小麦根系生长及活性氧代谢的影响

朱云集¹, 王晨阳¹, 马元喜², 夏国军¹, 王永华¹

(1. 国家小麦工程技术研究中心, 郑州 450002 2. 河南农业大学, 郑州 450002)

摘要 在水培和盆栽条件下研究了砷对小麦根系生长及活性氧代谢的影响。结果表明 随砷浓度的提高, 小麦胚根、次生根条数减少, 总根长度、胚芽长度缩短、根体积、干重也较对照减少, 超氧化物歧化酶(SOD)活性呈下降趋势, 脂质过氧化产物(MDA)含量增加, 质膜相对透性增大。小麦越冬期、拔节期、灌浆期表现出同样的趋势。

关键词 小麦, 砷胁迫, 根系, 活性氧代谢

Effect of arsenic stress on the growth and metabolism of the wheat root system

ZHU Yun-Ji¹, WANG Chen-Yang¹, Ma Yuan-Xi², Xia Guo-Jun¹, WANG Yong-Hua¹ (1. National Engineering Research Centre for Wheat, Zhengzhou, China 450002 2. He'nan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract Effect of arsenic stress on the growth of root system and metabolism of active oxygen were studied in water planting and pot culture experiments. The results indicated that with the increased As concentrations, the number of radicle and the secondary root decreased, and the total length of root shortened, and the volume and weight of root became less, the activity of SOD tended to drop. The content of MDA went up and the relative permeability of plasma membrane rose, with the increasing of the concentration of arsenic. The same tendency was also observed at the over-wintering stage, jointing stage and filling stage of wheat development.

Key words wheat, arsenic stress, root system, metabolism of active oxygen

文章编号: 1000-093X(2000)04-000-00 中图分类号: S512.1 文献标识码: A

农田土壤遭受重金属污染以及由此而产生的对农作物和人体健康的威胁, 是当今世界上普遍关注的问题^[1~6]。砷是土壤中的类金属污染物^[7]。砷污染在世界各地常见报道, 砷被列为优先污染物, 如在日本, 砷污染农田占重金属污染农田的 25%, 在我国随着现代工业的迅速发展, 废水、废渣的大量排放, 含砷农药、除草剂以及化肥等化学制剂的大量施用, 土壤砷污染也日趋严重。据报道, 在我国因污灌引起的土壤污染中, 砷居第 5 位, 在水体污染中, 砷排在第 6 位^[8]。近年来, 国内外相继开展了砷对农作物的危害、农作物对砷的吸收和累积规律方面的研究^[9~15]。由于在土壤污染物与作物的关系中, 最直接的受害部位是作物的根系, 本试验重点研究砷胁迫对小麦根系生长及活性氧代谢的影响, 为探讨砷污染的伤害机理和生物监测提供理论依据。

1 材料与与方法

1.1 试验条件与设置

1.1.1 本试验于 1993~1995 年分别在河南农业大学实验室(水培)和网室(盆栽)进行, 供试品种为豫麦 13; 供试土壤为壤质潮土, 其有机质含量 15g/kg(重铬酸钾法), 全氮 0.9g/kg(开氏法), 碱解氮 60.8mg/kg(扩散吸收法), 速效磷 13.2mg/kg(碳酸氢钠法), 速效钾 78.0mg/kg(AAS 法, 醋酸铵浸提), 含砷量为

基金项目 国家自然科学基金项目(编号 39178489)的部分内容

收稿日期: 1998-04-04, 修订日期: 1999-03-29

作者简介 朱云集(1955~), 女, 河南西平人, 副教授。主要从事作物栽培与生态生理研究。

4. 18mg/kg (AAS法 配氢化物发生器)。

1.1.2 水培试验挑健壮、饱满的小麦种子经消毒放在铺有滤纸的培养皿中,添加的砷溶液以砷浓度 25、50、100、150、200、250、300mg/L 投加亚砷酸钠,以清水培养为对照。重复 3 次。分别于 7d、10d 测定胚根数、胚根总长度和胚芽长度。

1.1.3 盆栽试验采用高 25cm、直径 26cm 的聚乙烯桶,每桶装过筛土壤 11kg,按砷浓度 50、100、150、200、250mg/kg 投加亚砷酸钠,均匀搅拌,并放置 7d 后播种小麦,以不投加亚砷酸钠为对照。重复 3 次。分别于越冬期(1/20)、拔节期(3/20)、灌浆期(5/11)冲根取样进行生理测定,成熟期测定根干重、根数等。

1.2 生理测定及方法

1.2.1 质膜相对透性 室温下用 DDS-11A 型电导仪,并用其比值表示质膜相对透性。

1.2.2 丙二醛(MDA) 按林植芳^[12]的硫代巴比妥酸(TBA)法测定。

1.2.3 SOD 活性测定酶液的制备 按王爱国^[11]的方法,利用其对氮蓝四唑的光抑制作用,取样 0.4g,酶液在 10000r/min 下冷冻离心 20min。

2 结果与分析

2.1 砷对小麦根系生长发育的影响

从盆栽条件下测定结果(表 1)可以看出,当土壤砷含量在 50~250mg/kg 范围内,随砷浓度的提高,单株次生根条数减少,根体积变小,根干重减少,其中根体积、根干重减少的幅度最大,这可能是由于土壤中的砷影响了小麦根的正常伸长和下扎的缘故。由于砷对根系的抑制也影响到小麦地上部的生长,地上部干重也随之降低,但可以看出砷对小麦根系的抑制作用大于对地上部的抑制,如土壤含砷在 200mg/kg 时,地上部干重较对照减少 32.9%,根干重却减少 63.9%。在土壤含砷 100mg/kg 以上时,小麦根系长出形似狮尾根等多种扭曲变形的畸形根,这主要因为主根的生长点细胞分裂受到抑制,生长点附近的细胞分裂长出分支根,分支根的伸长又受到抑制^[2]。由于根受到伤害,导致小麦不同程度植株变低,分蘖和绿叶片减少。

表 1 砷胁迫对盆栽小麦根系生长发育的影响

Table 1 Effect of arsenic stress on the growth and development of wheat root

处理 Treatments (mg/kg)	次生根		根体积		根干重		地上部干重	
	No. of secondary root (No./Plant)	CK ± %	Volume of root (ml/Plant)	CK ± %	Dry weight of root (g/Plant)	CK ± %	Dry weight of above-ground part (g/Plant)	CK ± %
0	34.8	—	6.7	—	1.08	—	2.16	—
50	35.0	+0.57	6.8	+4.5	0.99	-8.3	2.20	+1.9
100	26.8	-22.9	4.2	-37.3	0.84	-22.2	1.89	-12.5
150	24.6	-29.3	2.5	-62.7	0.50	-61.1	1.59	-26.4
200	13.5	-61.2	2.3	-65.7	0.39	-63.9	1.45	-32.9
250	10.2	-70.7	1.7	-74.6	0.37	-75.0	1.23	-43.1
r		-0.970**		-0.950**		-0.969**		-0.977**

水培条件下,在含砷 25~300mg/L 范围内,随砷浓度的提高,胚根条数减少,总根长度、胚芽长度缩短。其中除 25mg/L 处理与对照差别较小外,无论是水培 7d 还是 10d 测定结果,均表现出相同的趋势。并且可以看出,砷的重度胁迫对小麦根的伤害或抑制大于对胚芽的抑制,如在 10d 时测定,对照的总根长度分别为 150、200、250、300mg/L 处理总根长度的 2.7、9.0、24.7、32.9 倍,而胚芽长度分别是 1.4、1.6、2.3、2.5 倍。观察根系形态可见,当砷浓度超出 50mg/L,根毛稀少,根尖发黄,生长缓慢,超出 200mg/L,则根尖萎缩变黑,根向内弯曲,环抱盾片,胚芽的生长也严重受到抑制。砷浓度与胚根条数、总根长度表现出显著的负相关关系。

2.2 砷胁迫对小麦根系活性氧代谢的影响

2.2.1 砷胁迫对小麦根系 SOD 活性的影响 SOD 是生物体内的重要保护酶之一,它与 POD、CAT 等协同作

用构成生物体内的保护酶系统,以清除在逆境条件下或衰老过程中氧自由基的积累对生物膜的破坏^[10,11],图1是小麦生育期间不同砷处理根系 SOD 酶活性的动态变化,表现出拔节期活性最高、越冬期次之、灌浆期最低。不同砷浓度相比,除 50mg/kg 处理根系 SOD 活性与对照差别不大外,随土壤中砷浓度的增大,小麦根系 SOD 活性减小。各生育时期的趋势相同,但 SOD 活性降低幅度不同。如 50、150、250mg/kg 处理,越冬期根系的活性分别较对照下降 3%、44%、29%,拔节期分别下降 4%、37%、26%,灌浆期分别下降 1%、32%、18%,小麦根系 SOD 活性在不同生育期间的差异反映了其对砷敏感性的不同。

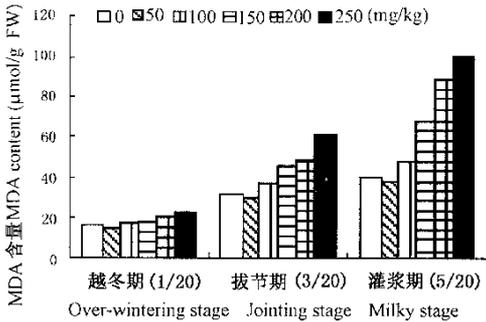


图2 砷胁迫对小麦根系 MDA 含量的影响

Fig.2 Effect of arsenic on the MDA content in wheat root system

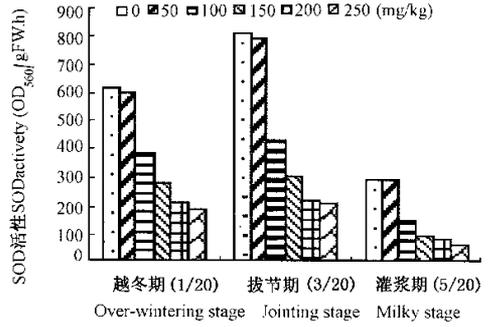


图1 砷胁迫对小麦根系 SOD 活性的影响

Fig.1 Effect of arsenic on the SOD activity in wheat root system

2.2.2

对根

系膜质过氧化水平的影响 MDA 是膜质过氧化的主要产物^[12]。测定结果表明(图2)随生育期的推进,各处理小麦根系内的 MDA 含量均呈升高趋势,在同一生育时期内,除 50mg/kg 处理 MDA 含量与对照相差不多外,其余处理随砷浓度的提高,MDA 含量增加,越冬、拔节、灌浆各生育时期表现出相同的趋势,如不同生育时期 MDA 含量升高的幅度不同。以灌浆期 MDA 含量增加较多,分别较对照增 27%、74%、122%、145%。随小麦生育后期植株抗逆能力减弱,砷胁迫必然加速小麦根系的衰老。

2.3 对根系质膜透性的影响

植株遭受逆境伤害的关键部位是生物膜系统,质膜相对透性的大小可作为生物膜受害的标志。测定结果(表2),小麦根系质膜透性随土壤中砷浓度的增加而增大,二者呈显著的正相关。可以看出,土壤中砷浓

表2 砷胁迫对小麦根系质膜相对透性的影响

Table 2 Effects of arsenic stress on the relative permeability of membrane of wheat root system

处理 (mg/L)	越冬期(1/20)		拔节期(3/20)		灌浆期(5/11)	
	Over-wintering stage		Jointing stage		Filling stage	
	相对透性(%)	比对照增(%)	相对透性(%)	比对照增(%)	相对透性(%)	比对照增(%)
	Relative permeability	Increase over CK (%)	Relative permeability	Increase over CK (%)	Relative permeability	Increase over CK (%)
0	19.13	—	30.28	—	53.19	—
50	19.14	0.01	30.78	0.05	53.37	0.18
100	22.40	17.09	37.06	22.39	55.20	3.78
150	25.87	35.23	54.92	81.37	69.13	29.97
200	30.91	61.58	62.40	106.08	78.85	48.24
250	41.04	114.53	70.10	131.51	95.97	80.43
r	0.939**		0.971**		0.940**	

度在 50mg/kg 以下时,对质膜结构的影响相对较小,当砷浓度超过 100mg/kg 以上时,质膜相对透性明显增大。不同生育时期测定的结果相比,以越冬期、拔节期受砷胁迫质膜相对透性增加较多,如 150mg/kg、250mg/kg 处理,越冬期、拔节期根系质膜相对透性分别较对照增加 35%、114% 和 81%、131%。灌浆期由于小麦根系老化程度已高,质膜相对透性较大,从而使受砷胁迫的影响不如越冬期、拔节期大,但各砷处理根系质膜相对透性的绝对值均较大。

3 结语

3.1 水培条件下砷含量在 50mg/L 以上,小麦幼根形态上表现出受害症状,随砷浓度的提高,胚根条数减少,总根长度、胚芽长度均短于对照,但对胚根的抑制大于对胚芽的抑制。

3.2 盆栽添加砷 100mg/kg 以上,小麦主根生长点受抑制,发出多个侧根,形态上类似狮尾根等多种扭曲变形的畸形根,随土壤中砷含量的提高,单株次生根条数减少,根干重、根体积较对照减少,并导致地上部生长受抑。

3.3 土壤中的砷含量在 100mg/kg 以上时,小麦根系 SOD 活性减少,膜脂过氧化水平提高,质膜结构逐渐遭到破坏,透性增大。从砷对小麦不同生育时期的生理影响看,以越冬期、拔节期的影响较大。

参考文献

- [1] 杨居荣,葛家满. 砷对农田生态系统污染效应的试验研究. 生态学报, 1984, 1(1): 34~45.
- [2] 廖自基. 环境中微量元素的污染与危害. 环境中微量元素的污染与危害. 北京: 科学出版社, 1989. 101~139.
- [3] 陈同斌,刘更另. 砷对水稻生长发育的影响及其原因. 中国农业科学, 1993, 26(6): 50~58.
- [4] 陈同斌. 土壤溶液中的砷及其与水稻生长效应的关系. 生态学报, 1996, 16(2): 147~153.
- [5] 徐红宁,许嘉琳. 土壤环境中重金属复合污染对小麦的影响. 中国环境科学, 1993, 13(5): 367~371.
- [6] 朱云集,王晨阳,等. 铜胁迫对小麦根系生长发育及生理特性的影响. 麦类作物, 1997, 5: 49~51.
- [7] 史吉平,董文华. 重金属胁迫对小麦幼苗超氧化物歧化酶活性的影响. 麦类作物, 1996, 3: 33~34.
- [8] 杨定国. 污水灌溉与农业环境污染. 农业环境保护, 1984, (5): 21~23.
- [9] 刘更另,陈福兴. 土壤中砷对植物生长的影响——南方“砷毒田”的研究. 中国农业科学, 1985, 18(4): 9~16.
- [10] 王晨阳,马元喜,等. 土壤渍水对冬小麦根系活性氧代谢及生理活性的影响. 作物学报, 1996, 22(6): 712~719.
- [11] 王爱国,罗广华. 几种检测超氧化物歧化酶活性反应的比较. 植物生理学通讯, 1983, 5: 46~49.
- [12] 林植芳. 水稻叶片衰老与超氧化物歧化酶活性及脂质过氧化作用的关系. 植物学报, 1984, (6): 605~615.
- [13] Asplazn M N, Romero F. Metal distribution and interaction in plant culture on artificial soil. *Water Air and Soil pollution*, 1986, 28: 1~2: 1~26.
- [14] Wallace A. Additive protective and synergistic effects on plants with excess trace elements. *Soil Science*, 1982, 133: 319~323.
- [15] Wright R J, Baligar V C, Ritchey K D, et al. Influence of soil solution aluminum on root elongation of wheat seedlings. *Plant and Soil*. 1989, 113(2): 294~298.